

Helsinki 12.10.98

PCT 198/00705

E T U O I K E U S T O D I S T U S  
P R I O R I T Y D O C U M E N T



Hakija  
Applicant

Patentihakemus nro  
Patent application no

Tekemispäivä  
Filing date

Kansainvälinen luokka  
International class

Keksinnön nimitys  
Title of invention

"Menetelmä ja laitteisto äänen vaimentamiseksi putkessa"

REC'D 30 OCT 1998

WIPO PCT

VTT  
Espoo

973677

12.09.97

G 10K

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja  
jäljennöksiä patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan  
annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä  
ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies  
of the description, claims, abstract and drawings originally  
filed with the Finnish Patent Office.

**BEST AVAILABLE COPY**

Maksu 220,- mk  
Fee 220,- FIM

Osoite: Arkadiankatu 6 A  
Address: P.O.Box 1160  
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

Puhelin: 09 6939 500  
Telephone: + 358 9 6939 500

Telefax: 09 6939 5204  
Telefax: + 358 9 6939 5204

## Menetelmä ja laitteisto äänen vaimentamiseksi putkessa

Keksinnön kohteena on menetelmä äänen vaimentamiseksi putkessa, missä menetelmässä vaimennettava ääni ilmaistaan detektorilla ja ääntä vaimennetaan kahdella peräkkäisellä aktuaattorielementillä.

Edelleen keksinnön kohteena on laitteisto äänen vaimentamiseksi putkessa, mihin laitteistoon kuuluu detektori vaimennettavan äänen ilmaisemiseksi ja kaksi peräkkäistä aktuaattorielementtiä ääntä vaimentavan vastaäären tuottamiseksi.

Äänen vaimentamiseksi putkistossa on esitetty esimerkiksi niin sanottu Swinbanksin menetelmä. Kyseisessä menetelmässä tuotetaan vaimennusäni kahdella peräkkäisellä elementillä. Kummallakin elementillä tuotetaan amplitudiltaan yhtä suuri tilavuusnopeus, mutta tilavuusnopeuksien vaiheet ovat vastakkaiset. Edelleen vaimennettavan äänen kulkusuunnassa ensimmäisenä olevaan elementtiin aiheutetaan elementtien väliseen etäisyyteen verrannollinen viive. Tällöin saadaan aikaan yksisuuntainen säteilevä elementti eli ei aiheudu akustista takaisinkytkeentä vaimennettavaa ääntä mittaavaan detektoriin vaan saadaan aikaan ainoastaan vaimennettavan äänilähteen ääntä eteenpäin vaimentava signaali. Eri elementtien kanavien välisen viiveen digitaalinen reaalisointi varaa kuitenkin paljon signaalinkäsittelyresursseja, jolloin käytettävän laitteiston kapasiteetti täytyy olla erittäin suuri ja/tai prosessointiaika tulee haitallisen pitkäksi.

Tämän keksinnön tarkoituksesta on saada aikaan menetelmä ja laitteisto, joilla pystytään saavuttamaan edellä mainitun menetelmän edut, mutta välttämään edellä mainittuja haittoja.

Keksinnön mukaiselle menetelmälle on tunnusomaista se, että ääntä vaimennetaan kahden peräkkäisen monopolielementin avulla siten, että molemmat elementit toimivat sekä dipoliaproksimaationa että tuottavat tarvittavan monopolisäteilyn, jolloin dipolin ohjaussignaali syötetään kummallekin elementille  $180^\circ$ :n keskinäisellä vaihe-erolla ja monopolin ohjaussignaali syötetään elementeille keskenään samanvaiheisena.

Edelleen keksinnön mukaiselle laitteistolle on tunnusomaista se, että aktuaattorielementit ovat monopolielementtejä, jotka on sovitettu toimimaan sekä dipoliaproksimaationa että tuottamaan tarvittava monopolisäteily ja että laitteisto sisältää välineet dipolin ohjaussignaalin syöttämiseksi kummallekin

elementille  $180^\circ$ :n keskinäisellä vaihe-erolla ja monopolin ohjaussignaalin syötämiseksi elementeille keskenään samanvaiheisena.

Keksinnön olennainen ajatus on, että ääntä vaimennetaan kahden peräkkäisen monopolielementin avulla siten, että molemmat elementit toimivat sekä dipoliaproksimaationa että samalla tavalla tarvittava monopolisäteily tuotetaan aproksimatiivisesti niiden avulla. Dipolin ohjaussignaali syötetään kummallekin elementille  $180^\circ$ :n keskinäisellä vaihe-erolla. Lisäksi monopolin ohjaussignaali syötetään samoille elementeille, mutta nyt keskenään samanvaiheisena. Kummankin elementin tuottamat kokonaistilavuusnopeudet ovat kombinaatioita monopolii- ja dipolilähteiden osuuksista. Erään edullisen sovellutusmuodon ajatuksena on, että ohjaussignaalit tarkennetaan sopivilla ohjausfunktioilla.

Keksinnön etuna on, että laitteistolla ei synny aktuaattorin ja detektorin välistä akustista takaisinkytäntä, koska laitteisto tuottaa yksisuuntaisen signaalin. Edelleen laitteisto on yksinkertainen ja laitteiston ohjausjärjestelmässä ei ole eri elementtien kanavien välillä viivettä, joten laitteistoa käytettäessä on mahdollista käyttää yksinkertaisia algoritmeja ja lyhyitä prosessointiaikoja suorituskyvyn ollessa samalla erittäin hyvä. Käytämällä ohjausfunktioita ohjaussignaalien tarkentamiseen ja korjaamiseen saadaan järjestelmä toimimaan lähes ideaalisesti myös korkeammilla taajuuksilla.

Termillä putki tarkoitetaan tämän hakemuksen yhteydessä esimerkiksi putkea tai kanavaa tai vastaavaa rakennetta, missä riittävän alhaisella taajuudella ääni etenee olennaisesti ainoastaan kahteen suuntaan.

Keksintöä selitetään tarkemmin oheisissa piirustuksissa, joissa kuvio 1 esittää kaavamaisesti erästä keksinnön mukaista laitteistoa sivultapäin katsottuna ja poikkileikattuna,

kuvio 2 esittää kaaviota keksinnön mukaisesta ohjausjärjestelmästä,

kuvio 3 esittää erästä dipoliosan ohjausfunktioita ja

kuvio 4 esittää erästä monopoliosan ohjausfunktioita.

Kuviossa 1 on esitetty putki 1. Putkessa 1 esiintyvä äänilähteenvaihtamaan ääntä on kuvattu nuolella A. Kohtaan  $x = -L$  on sovitettu detektori 2, jonka avulla äänilähteenvaihtamaan ääni ilmaistaan. Äänen kulkusuunnassa detektorin 2 jälkeen on sovitettu ensimmäinen aktuaattorielelementti 3 kohtaan  $x = -d/2$  ja sen peräen toinen aktuaattorielelementti 4 kohtaan  $x = +d/2$  siten, että aktuaattorielelementit 3 ja 4 ovat etäisyyden  $d$  päässä toisistaan. Aktuaattorielelementit 3 ja 4 ovat monopolielementtejä, jolloin ne eivät haittaa väliaineen vir-

tausta putkessa 1. Edelleen kuviossa 1 on esitetty kaavamaisesti ohjausvälineet 5 aktuaattorielementtien 3 ja 4 ohjaamiseksi detektorista 2 saatavan signaalin perusteella.

Ensimmäinen aktuaattorielementti 3 tuottaa tilavuusnopeuden  $q_1$ , ja toinen aktuaattorielementti 4 tuottaa tilavuusnopeuden  $q_2$ . Kumpikin aktuaattorielementti 3 ja 4 toimii dipoliaproksimaationa siten, että dipolin ohjaussignaali syötetään kummallekin elementille 3 ja 4  $180^\circ$ n keskinäisellä vaihe-erolla. Lisäksi kummallekin elementille 3 ja 4 syötetään monopolin ohjaussignaali, mutta nyt keskenään samanvaiheisena. Elementtien 3 ja 4 tuottamat kokonaistilavuusnopeudet  $q_1$  ja  $q_2$  ovat kombinaatioita monopol- ja dipolilähteiden osuudesta.

Tilavuusnopeus  $q_i$  kuvailee äänilähteen tuottamaa ääntä kohdassa  $x = 0$  ja tilavuusnopeus  $q_i$  on verrannollinen alkuperäiseen äänenpaineeseen  $p_1$  siten, että

15

$$q_i = \frac{p_1 S}{\rho_0 c_0},$$

missä  $S$  on putken poikkileikkauden pinta-ala,  $\rho_0$  on levossa olevan väliaineen tiheys ja  $c_0$  on äänen nopeus väliaineessa.

Aktuaattorielementtien 3 ja 4 ohjaussignaalit eli niiden tuottamat kokonaistilavuusnopeudet ovat

25

$$q_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{jkd} - \frac{1}{2} \right) q_i, \quad x = -d/2$$

ja

$$q_2 = -\frac{1}{2} \left( \frac{1}{jkd} + \frac{1}{2} \right) q_i, \quad x = +d/2,$$

30

missä

$j$  on imaginääriyksikkö,

$k$  on aaltoluku  $= \omega/c_0$ ,

$\omega$  on kulmataajuus,

$c_0$  on äänen nopeus väliaineessa ja

35

$q_i$  on kohdassa  $x = 0$  oleva alkuperäinen vaimennettava äänepaine skaalattuna tilavuusnopeussuureeksi.

5 Tilavuusnopeuksien esityksissä ensimmäiset osat liittyvät dipolisäteilyyn ja jälkimmäiset monopolisäteilyyn.

10 Edellä esitetyt kokonaistilavuusnopeudet vaimentavat äänilähteen tuottaman äänen sen kulkusuuntaan eivätkä aktuaattorielementit 3 ja 4 säteile äänilähteen äänensuuntaa vastaan. Kuitenkin korkeammilla taajuuksilla järjestelmä ei toimi ideaalisesti johtuen monopolia ja dipolisäteilyn toteutuksen aproksimatiivisesta luonteesta. Aproksimaatioiden tuottamat virheet voidaan kompensoida sopivilla ohjausfunktioilla. Merkitsemällä suurella a dipolin ohjausfunktio ja suurella b monopolin ohjausfunktio saadaan kokonaistilavuusnopeudet seuraavanlaisesti:

15 
$$q_1 = \frac{1}{2}(a/jkd - b/2)q_i, x = -d/2$$

ja

20 
$$q_2 = -\frac{1}{2}(a/jkd + b/2)q_i, x = +d/2.$$

25 Aktuaattorielementtien 3 ja 4 ohjausjärjestelmä on esitetty kaaviona kuviossa 2. Kuviossa 2 suure  $q_L$  viittaa detektorin 2 mittaamaan signaaliin skaalattuna tilavuusnopeussuureeksi ja viive  $\tau_L$  on aika, jonka ääni tarvitsee edetäkseen detektorin kohdalta  $x = -L$  aktuaattorijärjestelmän keskipisteesseen  $x = 0$  eli  $\tau_L = L/c_0$ , missä  $c_0$  on äänen nopeus väliaineessa. Kyseinen viive voidaan estioida ja implementoida adaptiivisella suotimella. Kuvion 2 suoritusmuodossa imaginääriyksikkö j on korvattu integraattorilla, jolloin pystytään välttämään aikaisemmin tarvittu  $90^\circ$ :n vaihesiirto ja samoin välttämään ohjausfunktion singulaarisuus taajuudella 0.

30 Aproksimaatioiden tuottamat virheet voidaan korjata esimerkiksi siten, että dipoliosan ohjausfunktio on

35 
$$a = \frac{kd/2}{\sin(kd/2)}$$

ja monopoliosan ohjausfunktio on

5

$$b = \frac{1}{\cos(kd/2)}.$$

10

Dipoliosan ohjausfunktion a kuvaaja on esitetty kuviossa 3 ja monopoliosan ohjausfunktion b kuvaaja on esitetty kuviossa 4. Kuvioissa 3 ja 4 suure  $\lambda$  tarkoittaa aallon pituutta. Monopoliohjaus on singulaarinen, kun  $d = \lambda/2$ . Täten käytetväissä oleva jatkuva taajuusalue rajoittuu kyseistä aallonpituutta vastaavaan taajuuteen.

15

20

Piirustukset ja niihin liittyvä selitys on tarkoitettu vain havainnollistamaan keksinnön ajatusta. Yksityiskohdiltaan keksintö voi vaihdella patenttivaatimusten puitteissa. Niinpä keksinnön mukaista järjestelyä voidaan käyttää myös detektoritoteutuksessa. Ideaalisimmin keksinnön mukainen järjestely toimii silloin, kun taajuus on riittävän alhainen siten, että putkessa etenee ainoastaan tasoaaltamuoto. Edullisimmin putki on riittävän pitkä, etteivät putken päästä tulevat heijastukset vaikuta lopputulokseen. Edelleen putki on edullisimmin niin kovaseinäinen, että putken seinämän impedanssia ei tarvitse ottaa huomioon. Vielä edullisimmin putkessa oleva väliaine on homogeenista ja virtaamatonta siten, että äänen nopeus on putken joka kohdassa yhtä suuri ja riippumaton äänen kulkusuunnasta. Vielä edullisimmin väliaine on niin ideaalista, että viskositeetti tai lämpöhäviöt eivät vaikuta lopputulokseen.

## Patenttivaatimukset

1. Menetelmä äänen vaimentamiseksi putkessa, missä menetelmässä vaimennettava ääni ilmaistaan detektorilla (2) ja ääntä vaimennetaan kahdella peräkkäisellä aktuaattorielelementillä (3, 4), t u n n e t t u siitä, että ääntä vaimennetaan kahden peräkkäisen monopolielementin (3, 4) avulla siten, että molemmat elementit (3, 4) toimivat sekä dipoliaproksimaationa että tuottavat tarvittavan monopolisäteilyn, jolloin dipolin ohjaussignaali syötetään kummallekin elementille (3, 4) 180°:n keskinäisellä vaihe-erolla ja monopolin ohjaussignaali syötetään elementeille (3, 4) keskenään samanvaiheisena.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että ensimmäisen aktuaattorielelementin (3) ohjaussignaali on

$$q_1 = \frac{1}{2}(a/jkd - b/2)q_i,$$

ja toisen aktuaattorielelementin (4) ohjaussignaali on

$$q_2 = -\frac{1}{2}(a/jkd + b/2)q_i,$$

missä

j on imaginääriyksikkö,

k on aaltoluku =  $\omega/c_0$ ,

$\omega$  on kulmataajuus,

$c_0$  äänennopeus väliaineessa,

d on aktuaattorielelementtien (3, 4) välinen etäisyys,

$q_i$  on aktuaattorielelementtien (3, 4) keskikohdassa oleva vaimennettava äänepaine skaalattuna tilavuusnopeus-  
suureeksi,

a on vakio tai dipoliosan ohjausfunktio ja

b on vakio tai monopoliosan ohjausfunktio.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että a on dipoliosan ohjausfunktio ja b on monopoliosan funktila, että

$$a = \frac{kd/2}{\sin(kd/2)}$$

ja

$$b = \frac{1}{\cos(kd/2)}.$$

4. Patenttivaatimuksen 2 tai 3 mukainen menetelmä, t u n n e t t u

siitä, että elementtien ohjaussignaaleissa ( $q_1, q_2$ ) imaginääriyksikön vaikutus määritetään integraattorin avulla.

5. Laitteisto äänen vaimentamiseksi putkessa, mihin laitteistoon kuuluu detektori (2) vaimennettavan äänen ilmaisemiseksi ja kaksi peräkkäistä aktuaattorielelementtiä (3, 4) ääntä vaimentavan vastaäänen tuottamiseksi, t u n n e t t u siitä, että aktuaattorielelementit (3, 4) ovat monopolielelementtejä, jotka on sovitetu toimimaan sekä dipoliaproksimaationa että tuottamaan tarvitava monopolisäteily ja että laitteisto sisältää välineet dipolin ohjaussignaalin syöttämiseksi kummallekin elementille (3, 4)  $180^\circ$ :n keskinäisellä vaihe-erolla ja monopolin ohjaussignaalin syöttämiseksi elementille (3, 4) keskenään samavaiheisena.

6. Patenttivaatimuksen 5 mukainen laitteisto, t u n n e t t u siitä, että ensimmäisen aktuaattorielelementin (3) ohjaussignaali on

$$q_1 = \frac{1}{2}(a/jkd - b/2)q_i,$$

ja toisen aktuaattorielelementin (4) ohjaussignaali on

$$q_2 = -\frac{1}{2}(a/jkd + b/2)q_i,$$

missä

j on imaginääriyksikkö,

k on aaltoluku  $= \omega/c_0$ ,

$\omega$  on kulmataajuus,

$c_0$  äänennopeus väliaineessa,

d on aktuaattorielelementtien (3, 4) välinen etäisyys,

20 q<sub>i</sub> on aktuaattorielelementtien (3, 4) keskikohdassa oleva vaimennettava äänenpaine skaalattuna tilavuusnopeus-  
suureeksi,

ja a on vakio tai dipoliosan ohjausfunktio ja

b on vakio tai monopoliosan ohjausfunktio.

7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen laitteisto, t u n n e t t u siitä, että a on dipoliosan ohjausfunktio ja b on monopoliosan funktila, että

$$30 a = \frac{kd/2}{\sin(kd/2)}$$

ja

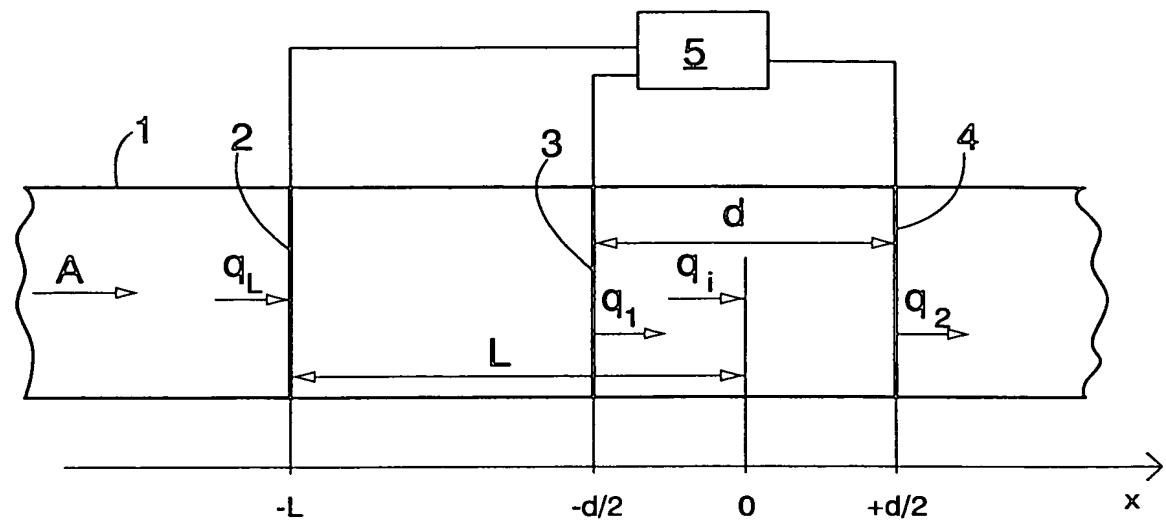
$$35 b = \frac{1}{\cos(kd/2)}.$$

(57) Tiivistelmä

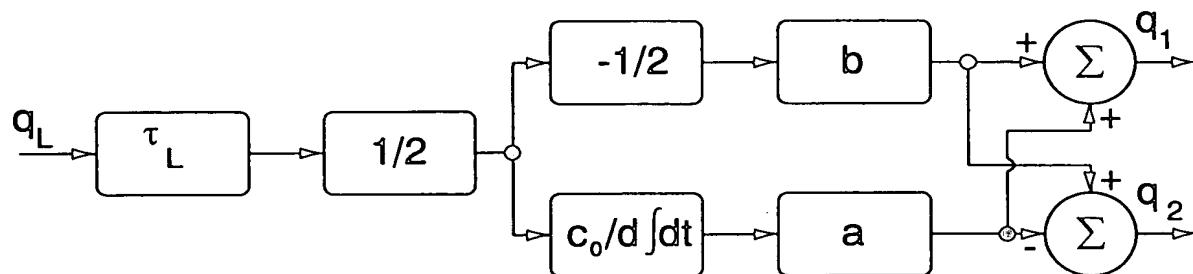
Keksinnön kohteena on menetelmä ja laitteisto äänen vaimentamiseksi putkessa.

Putkessa kulkeva ääni ilmaistaan detektorilla ja ääntä vaimennetaan kahden peräkkäisen monopolielementin avulla siten, että molemmat elementit toimivat sekä dipoliaproksimaationa että samalla tarvittava monopolisäteily tuotetaan aproksimatiivisesti niiden avulla. Dipolin ohjaussignaali syötetään kummallekin elementille  $180^\circ$ :n keskinäisellä vaihe-erolla. Lisäksi monopolin ohjaussignaali syötetään samoille elementeille, mutta nyt keskenään samanvaiheisena. Kummankin elementin tuottamat kokonaistilavuusnopeudet ovat kombinaatioita monopolia ja dipolilähteiden osuuksista.

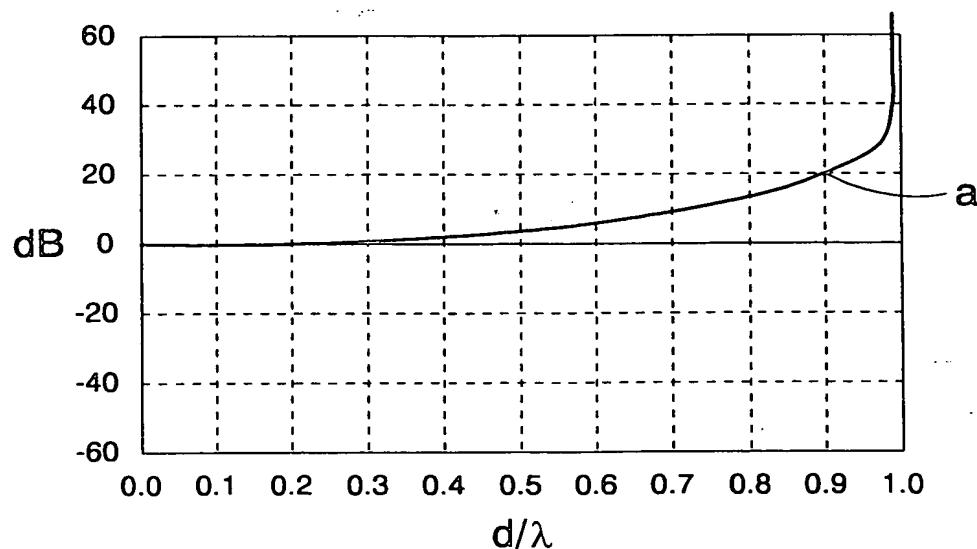
(Kuvio 1)



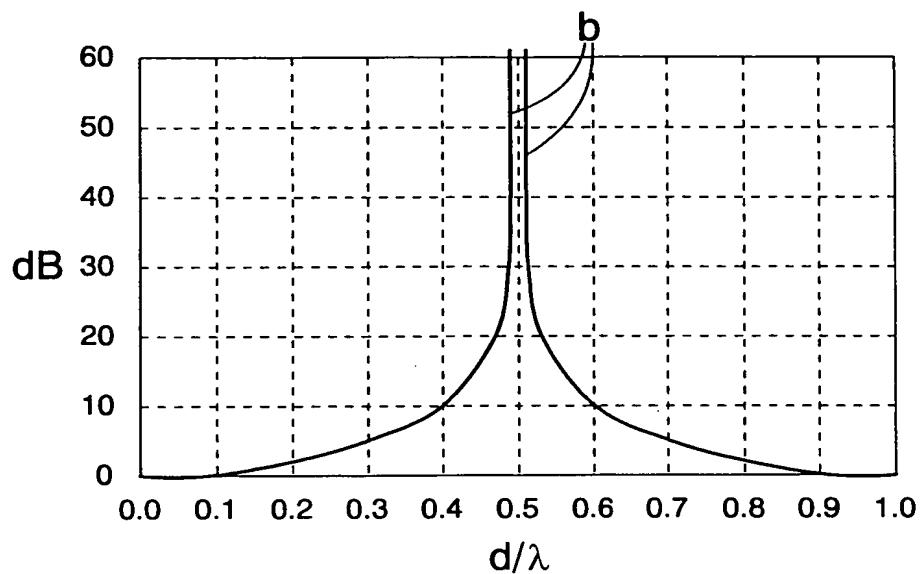
KUV. 1



KUV. 2



KUV. 3



**KUV. 4**

**BEST AVAILABLE COPY**

THIS PAGE BLANK (USPTO